国产广播级 8K EFP 摄像机系统冬奥直播应用解析

丁雪玲[1]　石　亮[2]
（1. 中央广播电视总台，北京 100000；2. 国家广播电视总局广播电视科学研究院，北京 100000）

摘　要：中央广播电视总台采用国际前沿的 8K 超高清技术对北京冬奥会开闭幕式和重要赛事进行全程直播。中央广播电视总台 8K 超高清电视节目制作标准是本届冬奥直播的技术要求，本文重点介绍了国产广播级 8K EFP 摄像机系统在该标准下进行 8K 直播的安全可靠性情况，并在此基础上阐述了中央广播电视总台在“5G+4K/8K+AI”应用探索方面的重要意义，及其对我国超高清产业发展及广电科技创新的重要作用与影响。

关键词：北京冬奥会；8K 摄像机；超高清制作；国产化替代　　**中图分类号：**TP491　　**文献标识码：**A
文章编号：1671-0134（2022）04-027-04　　DOI：10.19483/j.cnki.11-4653/n.2022.04.005
本文著录格式：丁雪玲，石亮 . 国产广播级 8K EFP 摄像机系统冬奥直播应用解析 [J]. 中国传媒科技，2022（04）：27-30.

2022 年 2 月 4 日至 20 日整个北京冬季奥运会期间，中央广播电视总台（以下简称总台）带领国内相关企业，运用全国产 8K 超高清摄像机系统，圆满地完成了 8K 信号的直（转）播工作。在总台直播组的指导与指挥下，国家速滑馆（冰丝带）现场架设的国内唯一完全符合总台各项技术指标的、由华光影像科技有限公司自主设计研制、生产的 8K EFP 超高清摄像机系统，通过了奥林匹克广播服务公司（OBS）的技术检测。

在近 20 天的直播过程中，国产 UDCAM-9000 型 EFP 摄像机系统不仅完美地完成了 8K 直播任务，而且其呈现的细节丰富、美轮美奂的影像效果，得到了 OBS、NHK 等国际电视同行的赞扬。在北京冬奥会的舞台上，华光全国产 8K EFP 摄像机系统，终于实现了中国产品在广播级前端摄像设备领域从无到有的突破，也是总台高举自主知识产权大旗，以国际领先的超高清音视频制播技术开始在全球进行超越、领跑的开端。本文首先介绍的是总台 8K 超高清节目制作的标准与要求，其次分析的是按照该标准进行的 8K 直播的安全可靠性情况，在此基础上阐述总台在“5G+4K/8K+AI”应用探索方面的重要意义，及其对我国广电科技创新的重要作用。

1. 应用基础：总台 8K 超高清电视节目制作标准

视频是图像呈现和信息传播的重要载体。根据相关报道，个人内容消费者网络流量的 80% 以上和行业应用流量的 70% 以上都是视频数据。当前的视频技术正从高清向超高清（HD TO UHD）、从 4K 向 8K 跨越，具有国际先进水平的 8K 超高清技术，只有依托先进的系列技术标准，才能在中央广播电视总台“百城千屏”推广活动中，在全国 30 多个城市 100 多块超高清大屏上，落地播出总台 8K 超高清频道的 2022 年春晚、北京冬奥会赛事等相关节目内容。

总台技术团队在深入研究国际标准、国家标准的基础上，率先提出了我国超高清视频制作的全套技术规范，涵盖视频采集、制作、传输、呈现各个环节。在摄像端，8K 图像清晰度为 7680x4320，是 4K 超高清的 4 倍，而且须达到高帧率、宽色域、高动态范围和高信噪比等。只有各项重要技术指标全部得到实现，才能给观众带来颠覆性、更具震撼力和沉浸感的全新视觉体验。

按照总台系列技术标准，广播级 EFP 8K 超高清视频规格必须同时达到以下性能要求：

8K 超高清 （UHD2）：水平清晰度 7680，垂直清晰度 4320；图像的宽高比 16：9；

总像素数为 4500 万以上；8K 超高清视频须支持 50fps、59.94fps、60fps、100fps 和 120fps 帧率；在色彩方面，宽色域 BT.2020 是必备条件；在色彩位深方面，将制作域位深确定为 10bit 以上，有效提升了超高清视频的流畅性、细腻感和色彩丰富度；非常重要的高动态范围 HDR 中，HLG-1000 是必不可少的选项。

2. 直播日志：国产 8K EFP 摄像机安全可靠性验证

从 2022 年 1 月初接到总台通知，到 2 月中旬北京冬奥会结束，在共 40 多天的时间，我们经历了总台联调、场馆内联调和直播等几个重要阶段，华光国产 8K EFP 摄像机（系统）与总台的 8K 制播系统一道，经历了 20 多天安全性、可靠性和功能性的严峻考验，并圆满完成了整个直（转）播任务。下面以工作日志形式，将华光国产 UDCAM-9000 型 8K 摄像机在应用中遇到的各种状况与解决措施做详细记录。

2022 年 1 月 17 日：华光 8K 设备进入总台

2 台（套）国产 UDCAM-9000 型 8K EFP 摄像机进入总台 E10 演播室进行设备集结。机器配合 2 支拍摄镜头：佳能 25-250mm10 倍变焦镜头 1 支、富士 19-90mm4.7 倍变焦镜头 1 支，调整镜头参数，调整镜头前后焦，顺利完成。

2022 年 1 月 20 日：华光 8K 摄像机联通

2 套讯道华光摄像机与 CCU 机站、草谷切换台和雷莫缆线进行联通调试，信号试通。测试 8K 与 4K 信号的同时输出功能，各项信号测试正常，联调一次到位，联

通顺利。

2022 年 1 月 23 日：8K EFP 系统联调

与超高清音视频协同中心 4 台索尼 8300 型 8K EFP 摄像机组成一个系统，进行联调，主要解决系统联通与系统完整性和成像一致性问题。

2022 年 1 月 25 日：技术人员使用操作方法培训

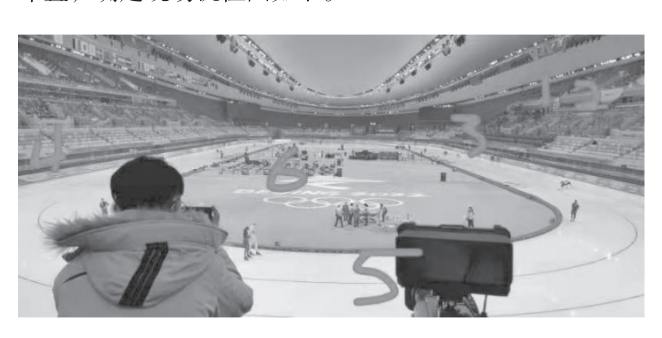
华光技术总监：周毅博士为总台体育中心导播、摄影师进行摄像机使用培训，同时解答使用人员提问。

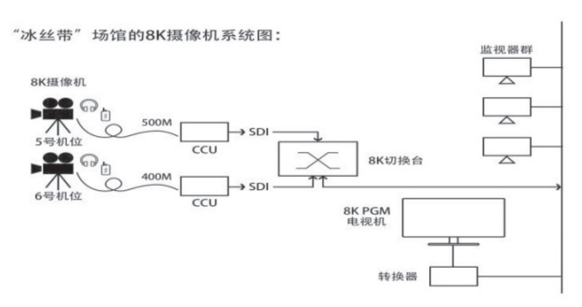
2022 年 1 月 28 日：设备打包、出发

华光设备与整个 8K 转播系统设备统一打包，起运至国家速滑中心（冰丝带）。

2022 年 2 月 1 日至 3 日：设备进场、确定系统结构并进行联调与测试

转播设备运抵转播现场，经过消杀等程序，进入国家速滑中心（冰丝带）现场。根据总台 8K 转播组的统一布置，确定现场机位图如下。





"冰丝带"的 8K EFP 转播系统共包含 6 个讯道，其中 5、6 号机为国产华光摄像机。调试中主要解决了如下问题：

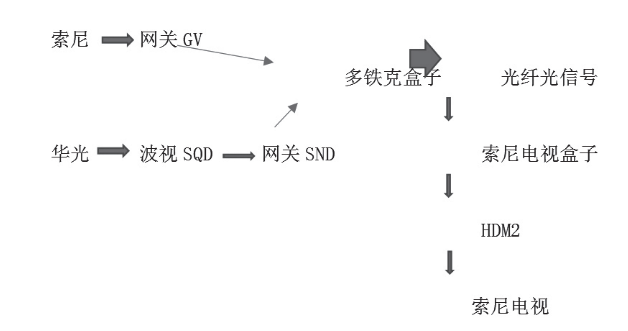
解决 CCU 到摄像机超长距离（400 米和 500 米）信号传输和供电电阻保护问题（华光摄像机系统均不需要加电缆中继器）；

联调中，笔者发现现场的 4 块 LED 大屏帧频（估计是 30 帧）与摄像机帧频不一致，造成摄像机拍摄过程中出现频闪现象，这是因为现场 LED 屏设置的显示参数不一致所导致的。通过调整摄像机内电子快门解决了此类问题；

摄像机调机过程中发现：在复杂光环境下，使用华光 UDCAM-9000 型摄像机的区域白平衡功能，焦点打虚调整白平衡，能够更准确地找到白平衡参数；

现场技术人员针对华光 8K 摄像机暂时没有连接 OCP 面板的情况，提出将电缆信号强度、白平衡数值、色域、饱和度等参数数值显示在寻像器上。华光正式版可以实现以上要求。

现场索尼 8K 系统连接复杂不符合广电 EFP 标准要求，造成华光摄像机必须通过适配器连接。其结构如下：



2022 年 2 月 5 日：第一个比赛日，直播

2022 年北京冬奥会的第一个比赛日，冰丝带在 16：30–18：10 进行了女子 3000 米速度滑冰决赛；

（1）OBS 经过严格检测，要求参与电视直播的摄像机，一律佩戴统一的专属机身罩，华光两台摄像机都披挂上了 OBS"专用马甲"；

（2）直播前的检查过程中，为确保直播安全，为 6 号机更换了新的寻像器和数据线。

2 个摄像机位设置参数：

5 号机位：佳能 20–250mm 镜头

VIDEO FORMAT	4*12g–SDI；UHD2；4：2：2；50 帧
SHUTTER GAIN	手动光圈；增益 1
WHITE BALANCE	R：1.343 G：1.000 B：1.984
BLACK BALANCE	R：0 G：0 B：0
COLOR CORRECTION	SATURATION：0.824
MATRIX	RG：0 RB：0 GR：–0.162
	GB：0 BR：0 BG：–0.062
OFFSET	R：0 G：0 B：0
OUTPUT	
	DETAIL ENHANCE：7
	DENOISE：4
OVER\UNDERSHOOT	EXTEND
PROFILES	USER6

设置窗口数据显示：

1	AWB	1/50
UHD2	HLG	50

6 号机位：富士 19–90mm 镜头

VIDEO FORMAT	4*12g–SDI；UHD2；4：2：2；50 帧
SHUTTER GAIN	手动光圈；增益 1.00
WHITE BALANCE	R：1.312 G：1.000 B：2.023
BLACK BALANCE	R：5 G：0 B：–6
COLOR CORRECTION	SATURATION：0.816

MATRIX	RG：0 RB：0 GR：–0.161
	GB：0 BR：–0.050 BG：–0.062
OFFSET	R：–5 G：0 B：4
OUTPUT	
	DETAIL ENHANCE：7
	DENOISE：4
OVER\UNDERSHOOT	EXTEND
PROFILES	USER3

摄像机窗口数据显示：

1.00	AWB	1/60
UHD2	HLG	50

2022 年 2 月 7 日，第三个比赛日，直播

场馆进行速滑女子 1500 米决赛，现场导演与导播根据情况对现场机位进行调整。

（1）场内的 5 号机调整机位，主要拍摄赛道内举牌的教练，景别多为人全；与此同时由于场地内亮度增加，观众坐席出现射灯，造成多色温的复杂拍摄环境。由于华光摄像机色还原能力好，最大程度做到了与现场画面的图像一致。

（2）因机位变化，导播要求重新调试摄像机，光圈降为 10–11，存储 USER1。佳能镜头在现场光线恶劣的环境下（景别最紧时），出现黑圈。

同时，技术系统提出，希望华光 8K 摄像机在下一版功能上进行改进：

（1）华光摄像机如果用按键调整板色温值，每上下按一次调整的数值是 100，希望下一版可以调整为 25 上下一次（采纳）；

（2）现场技术老师提出，调试白平衡希望先恢复厂设（具体要求讨论一下）。这两个问题，会在以后的改进版中实现。

2022 年 2 月 11 日，第七个比赛日，直播

场内进行的是男子 10000 米决赛，在现场遇到了冬奥会史上为数不多的特殊情况：第一组比赛结束后，有运动员在 5 号机的雷默线位置跪地呕吐，在这其间丢失两帧图像。转播组同事无法确定是否因选手跪地压了雷默线出现问题，还是电视盒子的问题。后续调整中恢复正常，也提醒在以后的转播工作中，对于每一寸视频连接线都应格外注意，以确保万无一失。

2022 年 2 月 12 日，第八个比赛日，直播

第 8 个比赛日在下午到傍晚时间，进行女子接力 1/4 决赛。导播对现场系统又做了调整：

（1）华光国产 6 号机位主要拍赛道，光圈 10–11；中场及比赛结束拍观众，光圈 7.5–8.0。

（2）5 号机位在内场拍摄机位变化，光圈变化比较频繁，建议存储 2–3 个 USER，便于切换使用。

日本 NHK 转播团队，听说中国国产 8K EFP 设备亮相冬奥会直播，也过来参观学习，同时询问了国产摄像机的品牌和型号。

2022 年 2 月 17 日至 19 日，第 13 个比赛日，直播

冰丝带进行女子 1000 米速滑决赛，直播一切正常，电子伺服手柄出现一定的操作局限：导播将 5 号机调整为拍摄比赛出发时刻的机位，机身高度调节到 1.8 米 –2.0 米高度时，出现伺服手柄无法控制光圈的问题。后续华光将与镜头厂家进行细致沟通，以确保伺服手柄的操作灵敏性与安全性。

6 号机参数变更：

光圈：10

SHUTTER/GAIN EXPOSURE 1751H

色温：2800

R 1.230 G 1.000 B 2.128

黑平衡：

R 5 G 0 B –6

COLOK CORKECTION SATURATION 0.996

R –5 G 0 B 4

OUTPUT	轮廓增加 7
	去噪 4
USER	1

2 套华光国产 8K EFP 摄像机（系统）在整个北京冬奥会期间，圆满地完成了直（转）播任务，全程经受住了严苛的考验。摄像机本身、联接线缆和 CCU 机站系统没有出现任何问题，总台为国产摄像机系统提供了一个良好的验证测试平台，为国产摄像机的应用和产品化打下坚实的理论与实用基础。

3. 国产化替代：总台在“5G+4K/8K+AI”应用方面的重要探索

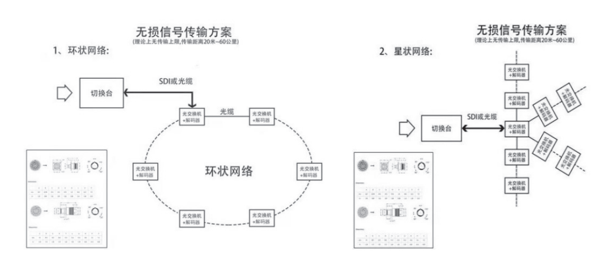
在国际范围内 8K 产业链的摄录制等前端环节，目前现有的设备很少，其中国外设备几乎垄断全球市场，广播级 8K 超高清摄像机与摄像系统基本由日本索尼、日立、佳能和美国个别品牌所垄断，其中日本产品的市场占有率约为 80%，美国和欧洲各约 10%。在此之前我国尚未诞生专业级 8K 摄像机与摄像系统，国产广播级 8K EFP 超高清摄像系统的研制成功，填补了该领域的空白。

“5G+4K/8K+AI”在制播领域有极高的技术难点。为了保证实时性，8K 对带宽的要求比较高，一路 8K 裸信号最大可达到 48G 甚至更高，根据国家标准和国际标准要求，在电视制播环节，信号传输采用的是 SDI 铜缆，一根 SDI 铜缆当前最大带宽 12G，如果要传递一路无压缩 8K 信号，需要多根线缆并行使用，一定程度增加部署运维难度。图像内容是视频制作的核心资产，原始视频图像来之不易，弥足珍贵，一旦被压缩就损失了后期制作的大部分品质和价值，所以在制作域，无压缩（裸）

信号对于 8K 内容还原是非常重要的，此外确保无压缩信号带宽稳定、传输过程无丢包和 us 级时间同步精度，都是 8K 内容在制作时必须确保的关键因素。

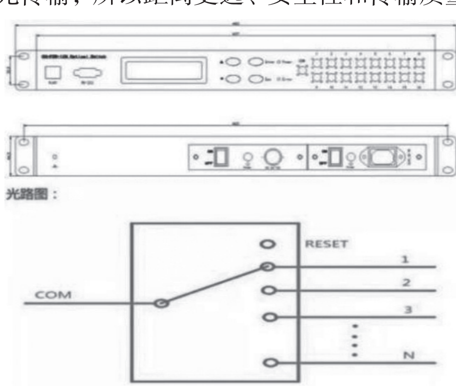
为了确保上述技术要求的实现，制作领域必须有一张安全、可靠、鲁棒性好的制播平台，华光团队在多年研发的基础上，建议制播系统采用一种高效安全的 4K/8K 台内或转播车制作域内的无损信号（基带光）传输方案，并进行实验试用。

此方案是以光交换机为基础，一个光交换机 + 电信号解码器（无压缩）构成上下载基站，可由环形网络或星形网络架构，确保网络的安全可靠。



可以先考虑建设台内实验网，需要对外远程跨域传输时，可以直接进入电信的光干线；也可以直接与电信或联通的光接口网关连接，通过与全光干线网络直连，完成跨省市的远程信号交换和分配，理论上没有传输距离上限。

此方案的每个节点交换机单价比 XS IP 和 2110 IP 更便宜，且价格是前述两方案的 1/2 ~ 1/3，由于是无压缩的基带光传输，所以距离更远、安全性和传输质量更好。



光交换机可以实现 N 进 K（COM）出交换，本地选或网管选。根据定义和设备定制情况，这里 N、K 可以是光纤数，也可以是光波长（nm），因为是全光交换机，所以智能化程度高，可靠性好（比路由器好）。

4. 新科技的未来：从并跑到领跑的突破

我国广电科技如何利用国产系统和国产替代技术实现由并跑迈向领跑？广播电视节目内容的生产制作流程包括采、编、播、存、传等多个环节。支撑业务系统主要包括转播车和演播室的视音频制作系统、总控调度系统、播出系统、收录系统、非编系统等。按照国际标准和国家标准，以往的台内制作域系统都是基于 SDI 的基础技术架构来构建的。

如何解决多路 SDI、同步和传输距离等的局限性，答案就是全光网络或制播 IP 协议化。也就是采用基于全光网络（ROADM）或 ICT（网络和通信技术）的 IP 化的技术架构来逐步替代 SDI 技术架构的传输部分，这急需实验验证与标准支持，也正在形成行业共识。近几年来，全光网和制播 IP 化是欧洲广播电视界的热门研究方向，国际上各大标准组织也在积极推动 IP 化标准制定。

制播 IP 化一方面解决高带宽信号的传输和调度。IP 化实质也是用光纤替代 SDI 铜缆，一根光纤就可以传输 400G 甚至更多，还是双向传输。光纤可以将信号传递到几千米甚至 100 千米以上。

另一方面，基于 IP 架构的组网方式将改变传统广播电视信号只能由前向后线性传输的局限，是未来实现融合媒体、云计算、大数据分析等目标的技术基础。

5. 小结

根据《超高清视频产业发展行动计划（2019–2022 年）》制定的目标，预计到 2022 年，我国超高清视频产业总体规模超过 4 万亿元。中国目前是全球最大的超高清视频市场之一。在国家《超高清视频产业发展行动计划（2019–2022 年）》中提到，2022 年 8K 电视占比要达到 5%。摄录编环节的薄弱，严重制约全产业链发展。超高清国内市场初期为万亿规模，成长期预计超过 10 万亿，全球市场规模将在 100 亿产值以上。

超高清产业链是国家工业与信息化部、国家广播电视总局共同认定，拥有万亿产值的国家新兴高科技产业链。此后随着应用领域的逐步扩展（增加工业级、民用级等产品），8K 摄像机市场及其相关产业的需求量还会大幅增长，市场潜力巨大，发展前景良好。在娱乐、医疗、教育、工业，安防、旅游、艺术等方面，8K 摄像系统设备都具有巨大的潜力，一系列重大活动将带动 8K 超高清摄像系统与摄录编设备的爆发式增长，

不难预见，总台的“5G+4K/8K+AI”超高清国产化进程将会给人们的生活带来巨大改变，除了影视、体育、竞赛领域外，8K 也让远程医疗成为现实，肉眼难辨的手术线可以在 8K 图像上得到清晰的呈现；安防方面，只需少量摄像头就可以进行大面积监控；再就是文物保护领域，8K 可以最大程度还原文物细节和本真的色彩，大大增强文物保护力度。最让人期待的是 8K 电视，可实现在家里只要看电视，就会产生电影院的沉浸感和临场效果。可以相信，在 5G 网络和 AI 的共同加持下，8K 将会覆盖到人们工作和生活中的更多领域，打造更加美好的数字新生活。媒

作者简介：丁雪玲（1976–），女，黑龙江，主任编辑，副制片人，研究方向：广播电视；石亮（1984–），男，天津，工程师，研究方向：广播电视技术。

（责任编辑：李净）